

УДК 621.793.79;620.198

А. П. Пономарев*, А. Е. Гулин

Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова,
г. Магнитогорск

**antonpon@mail.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *В. Л. Стеблянко*

ИССЛЕДОВАНИЕ ОСОБЕННОСТЕЙ ПОКРЫТИЙ, ФОРМИРУЕМЫХ ПРИ ПЛАЗМЕННО-ЭЛЕКТРОЛИТНОЙ ОБРАБОТКЕ ПОВЕРХНОСТИ МЕТАЛЛОИЗДЕЛИЙ

В работе изучены особенности цинковых, медных и титановых покрытий, формируемых при плазменно-электролитной обработке на поверхности холоднокатаной ленты и сварочной проволоки. Определено, что плазменно-электролитные покрытия имеют сложный микрорельеф и состоят преимущественно из чистого металла, но вместе с тем происходит образование соединений металла покрытия с металлом основы, а также формирование диффузионного слоя внутри покрываемой поверхности. Благодаря этому покрытия обладают высокими адгезионными свойствами.

Ключевые слова: плазменно-электролитная обработка, металлическая поверхность, покрытие, холоднокатаная лента, сварочная проволока.

A. P. Ponomarev, A. E. Gulin

THE STUDY OF COATINGS FORMED BY PLASMA-ELECTROLYTIC TREATMENT OF METALWARE SURFACE

The research presents features of zinc, copper and titanium coatings formed by plasma-electrolytic treatment on surface of cold rolled strip and welding wire. It was determined that plasma-electrolytic coatings have a complex microrelief and consist mainly of pure metal but at the same time compounds of the coating metal with the base metal and a diffusion layer within the coated surface are formed. As a result the coatings exhibit high adhesion properties.

Keywords: plasma-electrolytic treatment, metal surface, coating, cold rolled strip, welding wire.

Важным для понимания природы процессов, происходящих при плазменно-электролитной обработке поверхности металла, является изучение особенностей строения и свойств покрытий, формируемых в ходе такой обработки. Исследования проводились в Лаборатории слоистых композитов и покрытий МГТУ им. Г. И. Носова под руководством профессора В. Л. Стеблянко.

В работе были реализованы струйный метод (подача электролита через отверстия в аноде) и метод погружения анода и обрабатываемого изделия в ванну с электролитом при нанесении покрытий плазменно-электролитным способом. Выполнены эксперименты по формированию цинковых, титановых и медных покрытий на холоднокатаной ленте из стали марки 08пс и сварочной проволоке диаметром 1,2 мм из стали марки Св-08Г2С.

Исследования микроструктуры при увеличениях 1000 и более крат проводились в ЦКП НИИ Наносталей при ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова» на сканирующем электронном микроскопе *JSM 6490 LV*. Микрорентгеноспектральный анализ (МРСА) выполнен с использованием специальной приставки к сканирующему микроскопу – системы *INCA Energy*. Микрорельеф поверхности покрытий изучен на сканирующем зондовом микроскопе «ФемтоСкан» Офиса услуг по материаловедению ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова». Анализ покрытий методом дифференциальной сканирующей калориметрии (ДСК-анализ) выполнен в Лаборатории физико-химических испытаний упаковочных материалов кафедры Химии ФГБОУ ВО «Магнитогорский государственный технический университет им. Г. И. Носова» на приборе синхронного (совмещенного) термогравиметрического анализа и дифференциальной сканирующей калориметрии (ТГ/ДСК) *STA 449 F3 Jupiter*.

Проведенные металлографические исследования, а также ДСК-анализ цинковых покрытий, полученных плазменно-электролитным способом на поверхности стальной ленты, показали, что покрытие преимущественно состоит из чистого цинка (эндотермический пик на кривой ДСК с началом при температуре 414,3 °С), но на границе покрытия со стальной основой возможно образование железоцинкового соединения [4], которому соответствует эндотермический пик на кривой ДСК с началом при температуре 522,9 °С (рис. 1, 2). Данный факт характеризует стадию объемного взаимодействия покрытия с основой в процессе его формирования. Пики при более высоких температурах соответствуют испарению цинка и различным превращениям, происходящим в стали.

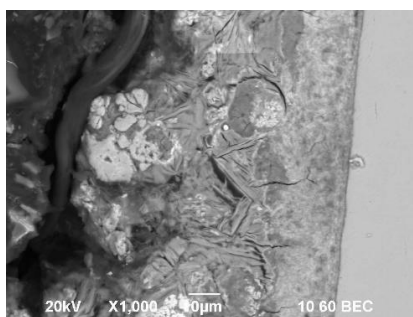


Рис. 1. Микроструктура цинкового покрытия, полученного плазменно-электролитным способом, $\times 1000$

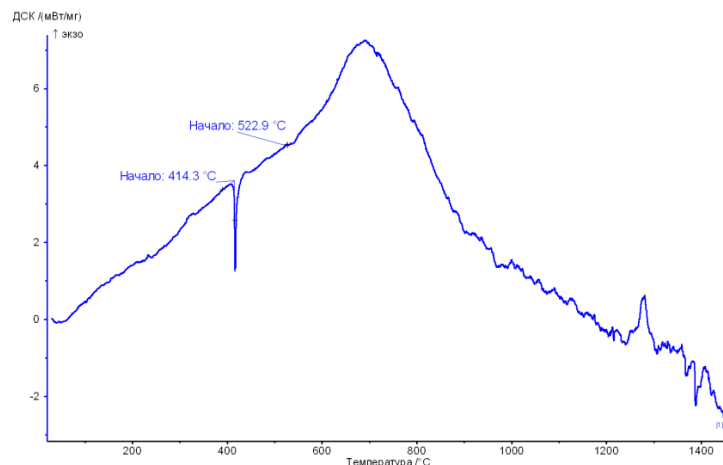


Рис. 2. Кривая ДСК для образца с цинковым покрытием, полученным плазменно-электролитным способом

Кривая ДСК (рис. 2) имеет экстремальный характер. Максимум достигается при температуре 690 °C. Наличие этого максимума свидетельствует, скорее всего, о полном расплавлении испытуемого образца, включая чистый цинк и различные железоцинковые фазы, поскольку теплоемкость жидкости больше, чем твердого вещества. После достижения максимума кривая начинает снижаться в сторону уменьшения теплового потока. Скорость изменения теплового потока связана с начальной структурой твердого покрытия. У покрытия, полученного плазменно-электролитным способом, наблюдаются невысокие скорость снижения и величина уменьшения теплового потока после перехода в жидкое состояние. Это, по всей видимости, говорит о том, что его структура в твердом состоянии приближена к жидкости, то есть она имеет аморфный характер.

Аналогичные эффекты имеют место и при нанесении медного покрытия плазменно-электролитным способом на сварочную проволоку (рис. 3).

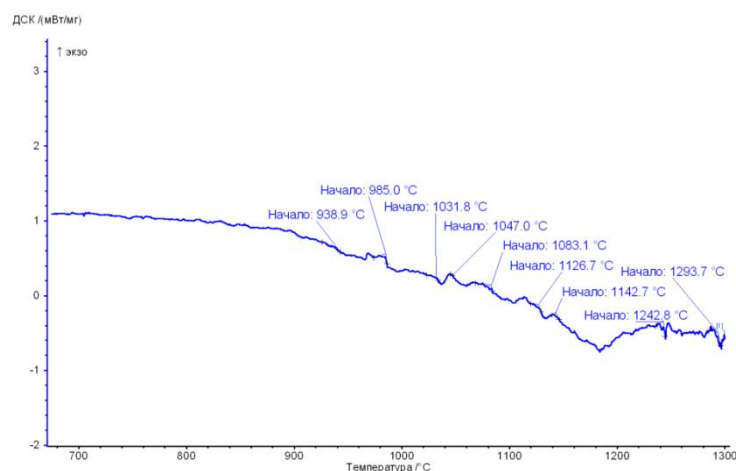
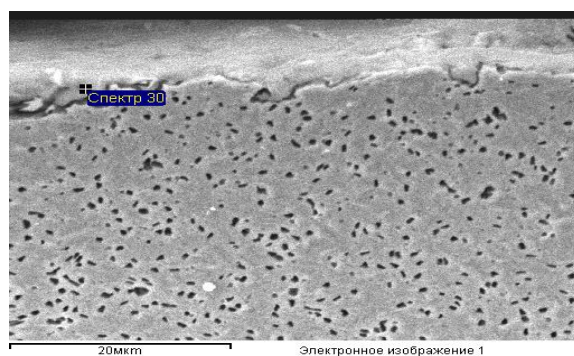
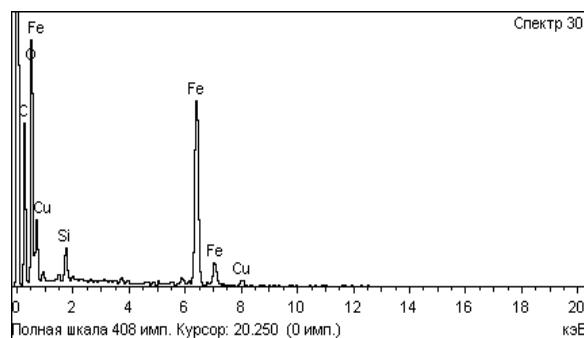


Рис. 3. Кривая ДСК для образца с медным покрытием, полученным плазменно-электролитным способом

Граница «покрытие – основа» состоит в основном из железомедных соединений с разным соотношением железа и меди, о чем свидетельствует присутствие на кривой ДСК для этого слоя ряда эндотермических пиков в диапазоне температур от 900 до 1300 °С. Присутствие железа и меди в граничном слое подтверждено МРСА (рис. 4).



a

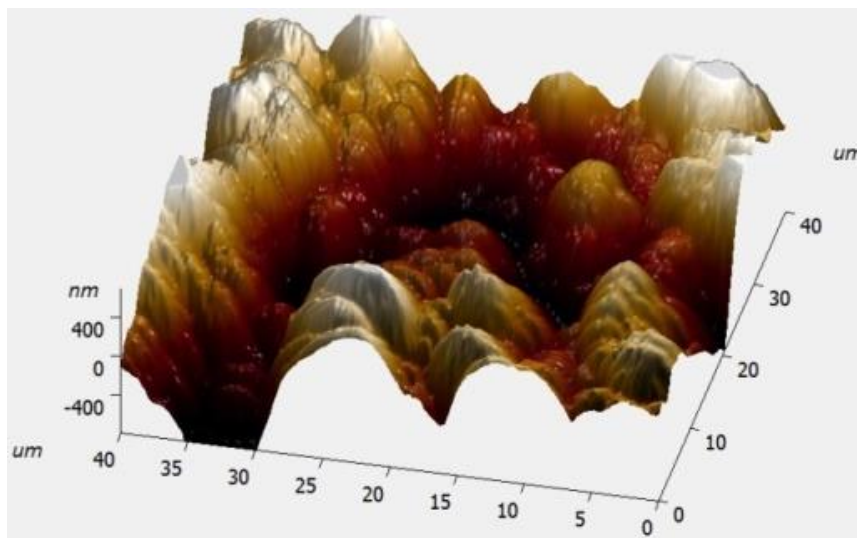


б

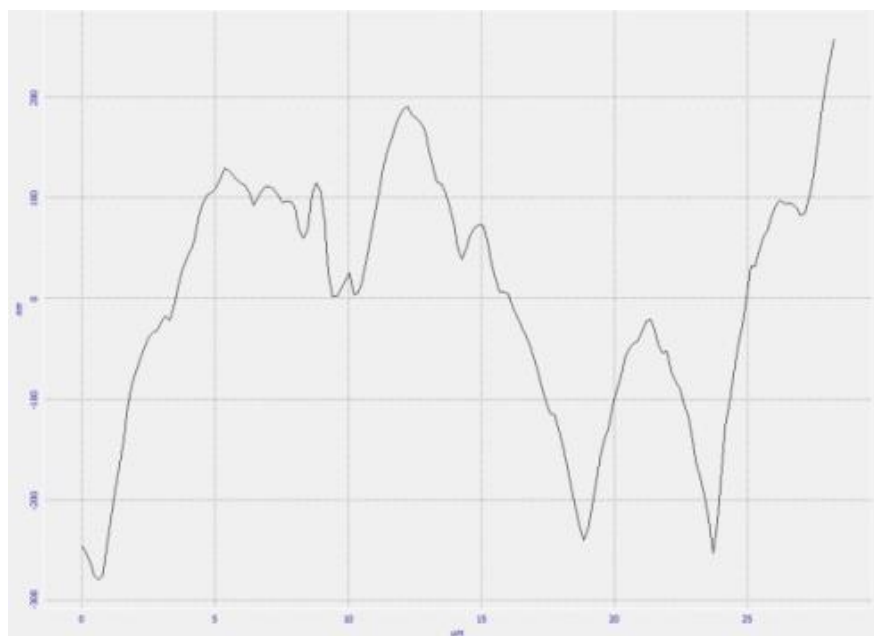
Рис. 4. Микроструктура (*a*) и микрорентгеновский спектр (*б*) медного покрытия, полученного плазменно-электролитным способом

Поверхность плазменно-электролитного покрытия имеет сложный микрорельеф (рис. 5) с многочисленными впадинами и выступами. Методом сканирующей зондовой микроскопии определено, что полученные плазменно-электролитным способом покрытия в основном относятся к 9 классу шероховатости. В частности, для медного покрытия среднее арифметическое отклонение профиля составило около 0,220 мкм.

Часть металла покрытия имплантируется в основу. Исследования, проведенные на цинковых и титановых плазменно-электролитных покрытиях, показали, что глубина проникновения металла покрытия в основу может достигать 20 мкм. Благодаря этому плазменно-электролитные покрытия обладают высокой адгезионной прочностью, что было установлено по результатам испытаний на изгиб на 180° [1; 2], выполненных по ГОСТ 14019–2003 «Материалы металлические. Метод испытания на изгиб» [3].



а



б

Рис. 5. Трехмерное изображение (*а*) и профиль поверхности (*б*) медного покрытия, полученного плазменно-электролитным способом

Получение высокопрочного соединения покрытия с основой является важной задачей, в частности, в производстве омедненной сварочной проволоки. Недостаточное сцепление покрытия с основой приводит к забиванию мундштуков сварочных аппаратов в поточных линиях сварки, что негативно сказывается на производительности и сроке службы аппаратов. Результаты промышленных испытаний омедненной плазменно-электролитным способом сварочной проволоки показали

полное отсутствие отслоения покрытия. Это говорит о его высоком качестве.

Работа выполнена при поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере (Договор № 7547ГУ2/2015 от 11.09.2015).

ЛИТЕРАТУРА

1. Steblyanko V. L., Ponomarev A. P. Plasma-Electrolytic Treatment as an Innovative and Resource-Saving Technology of Metal Surface Treatment // Materials Science Forum. 2016. V. 870. P. 416–421.
2. Стеблянко В. Л. Пономарев А. П. Улучшение эксплуатационных свойств цинкового покрытия на основе формирования особенностей его структуры при плазменно-электролитной обработке поверхности // Вестник Магнитогорского государственного технического университета им. Г. И. Носова. 2012. № 3. С. 37–41.
3. ГОСТ 14019–2003. Материалы металлические. Метод испытания на изгиб. 7 с.